

РОЗРАХУНОК КОНТАКТНИХ ЗОН БУРИЛЬНИХ ТРУБ ЗІ СТІНКАМИ СВЕРДЛОВИНИ І ФІЛЬТРАЦІЙНОЮ КІРКОЮ

І.І.Чудик, В.В.Буй

ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 45560,

e-mail: chudoman@ukr.net

Приведена методика расчета площади взаимодействия буровой колонны со стенками скважины, которые покрыты липкой фильтрационной коркой в присутствии желобных выработок незначительной глубины. Намечены перспективы дальнейших исследований в данном направлении.

The calculation method of the contact area of drill string with well walls that is covered by adhesive filtration crust with skin-deep groove excavations by different parameters of borehole and stem is adduced. Perspectives of further investigation in this direction are planned.

Розширення об'ємів будівництва похило-скерованих (ПСС) і горизонтальних (ГС) свердловин обумовлює подальше вдосконалення теорії і практики, техніки і технології буріння в заданому напрямі. Це складна багатofакторна задача формується великою кількістю техніко-технологічних умов роботи бурильної колонни, типом породоруйнівного інструменту, режимно-технологічними параметрами буріння і промивкою свердловини. Однією з найбільших проблем, які постійно супроводжують процес буріння, є взаємодія бурильної колонни із стінками свердловини з різними при цьому наслідками [1], а саме:

- втратою циліндричності ствола свердловини;
- втратою профілю свердловини;
- затяжками бурильної колонни в жолоби із наслідками прихоплення;
- втрата параметрів проектного профілю;
- неможливістю утворення необхідного осевого навантаження на долото;
- перевантаження наземного обладнання;
- обривами колонни бурильних труб.

Однією з основних проблем буріння свердловин, пов'язаних із бурильною колоною, є неможливість забезпечення необхідного навантаження на долото [2] внаслідок виникнення великих сил опору збоку тертя металу труб об гірську породу. Прямий і опосередкований впливи сил опору на умови проводки свердловини створюють ряд труднощів і ускладнень, подолання яких зумовлює значні затрати коштів і часу.

Розробка аналітичних методів оцінки фактичного навантаження на талеву систему, а також сил притискання труб до стінок свердловини при різних виробничих процесах її спорудження дозволить вирішувати широкий спектр інженерних задач буріння в заданому напрямі із мінімальними затратами енергетичних і матеріальних ресурсів.

У процесі буріння конфігурація стовбура свердловини не є постійної циліндричної форми. Однією з причин утворення виробок на її стінках є механічна дія на неї бурильної колонни, яка втратила стійкість. Сила притискання труб до стінок свердловини обумовлена влас-

ною вагою елементів бурильної колонни, їх конструктивними параметрами, пружністю на згин, перепадом тиску і повною величиною гідростатичного тиску. Її збільшення сприяє покращенню прилипання бурильної колонни до фільтраційної кірки [3, 4]. Тому відомості про фактичні величини сил, діючих в місцях взаємодії окремих ділянок бурильної колонни із стінками свердловини, форма і площа контакту дозволять точніше проектувати розміри вибійних компоновок, попередити жолобоутворення і визначити найбільш навантажені ділянки бурильної колонни. Вирішенню цих питань присвячено багато наукових праць. Одні з авторів не враховують площу взаємодії, беручи до уваги лише лінійний контакт по всій довжині колонни труб, інші приймають умовну величину, рівну певній долі від півдіаметра, коли бурильна колона притиснута до стінки свердловини. Незважаючи на це, не враховується контакт різних елементів труби (замок, тіло труби) із стінками свердловини, покритої фільтраційною кіркою при можливому протиранні жолобів по стінці гірничої виробки. Для вирішення поставленої задачі використаємо наступну розрахункову схему.

Згідно з розрахунковою схемою (рис. 1) R і r – радіуси свердловини та елемента бурильної колонни; f – товщина фільтраційної кірки. Із трикутника $O12$ за теоремою косинусів отримуємо таке співвідношення:

$$r^2 = (R - f)^2 + (R - r)^2 - 2(R - f)(R - r) \cdot \cos \alpha. \quad (1)$$

В результаті виконання ряду перетворень:

$$\alpha = \arccos \left[\frac{2 \cdot (R - r) \cdot R - f \cdot (2 \cdot R - f)}{2 \cdot (R - f) \cdot (R - r)} \right]. \quad (2)$$

З цього ж трикутника за теоремою синусів:

$$\frac{R - f}{\sin(\pi - \varphi)} = \frac{r}{\sin(\alpha)}. \quad (3)$$

В результаті виконання перетворень, отримуємо:

$$\varphi = \arcsin \left[\frac{(R - r) \cdot \sin(\alpha)}{r} \right]. \quad (4)$$

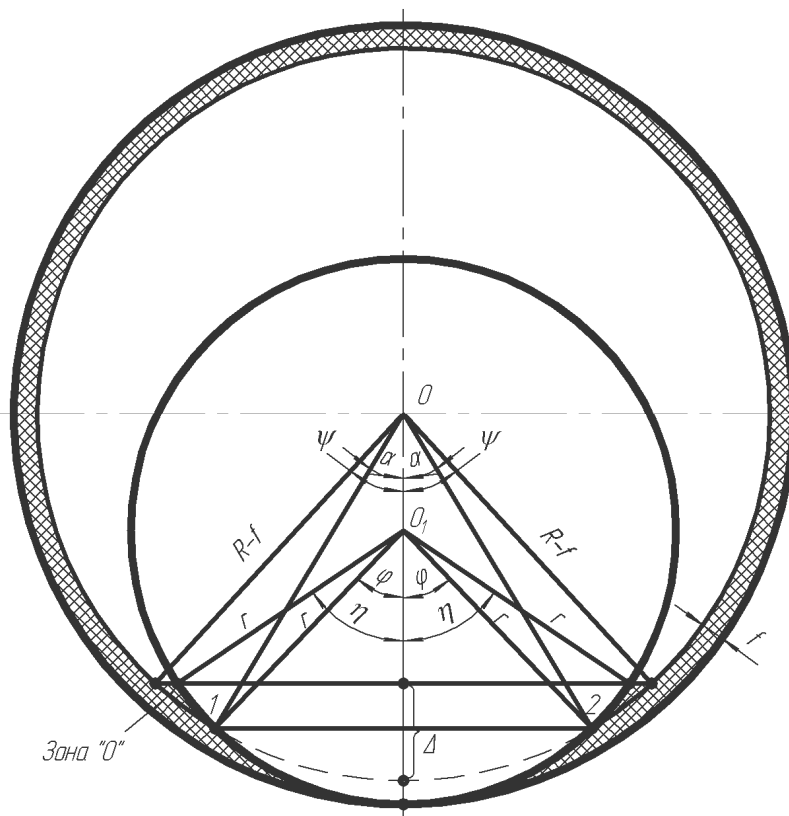


Рисунок 1 — Схема контакту бурильної колони зі стінкою свердловини, покритої фільтраційною кіркою

Виходячи з геометричних побудов (рис. 1), площа витіснення частини фільтраційної кірки в зону "0" виражається наступною залежністю:

$$S^* = \frac{r^2(2\varphi - \sin 2\varphi) - (R - f)^2(2\alpha - \sin 2\alpha)}{2} \quad (5)$$

Внаслідок витіснення фільтраційної кірки із стінки свердловини в зону "0" (рис. 1), відбувається збільшення площі контакту елементів бурильної колони із в'язким середовищем. Після витіснення у відповідності до розрахункової схеми отримуємо:

$$\psi = \arccos \left[\frac{R - f - \Delta}{R - f} \right], \quad (6)$$

$$\eta = \arccos \left[\frac{r - f - \Delta}{r} \right], \quad (7)$$

де Δ – висота підйому витісненої фільтраційної кірки.

Виходячи з (5), (6) і (7), отримуємо transcendентне рівняння для визначення величини Δ , η , ψ :

$$S^* = \frac{(R - f)^2(2\psi - \sin 2\psi) - r^2(2\eta - \sin 2\eta)}{4} \quad (8)$$

Довжина зони охоплення бурильної колони фільтраційною кіркою визначається:

$$l = \frac{\eta \cdot \pi \cdot r}{180} \quad (9)$$

За допомогою запропонованого підходу можна визначати площу контакту елементів

бурильної колони із стовбуром свердловини різної інтенсивності викривлення.

Якщо приствольна зона складена м'якими, схильними до утворення жолобів гірськими породами, то необхідно враховувати можливість врізування елементів бурильної колони в стінку свердловини, що посилює силу опору, як і при осьовому її переміщенні. Для її врахування використовуємо попередню розрахункову схему (рис. 1) з наявністю глибини жолобної виробки (рис. 2):

Відповідно до рис. 2 відстань між осями свердловини і елементом бурильної колони OO_1 визначається за формулою

$$OO_1 = R - r + q \quad (10)$$

З трикутника AOO_1 за теоремою косинусів:

$$r^2 = (R - r + q)^2 + R^2 - 2R(R - r + q) \cdot \cos \alpha' \quad (11)$$

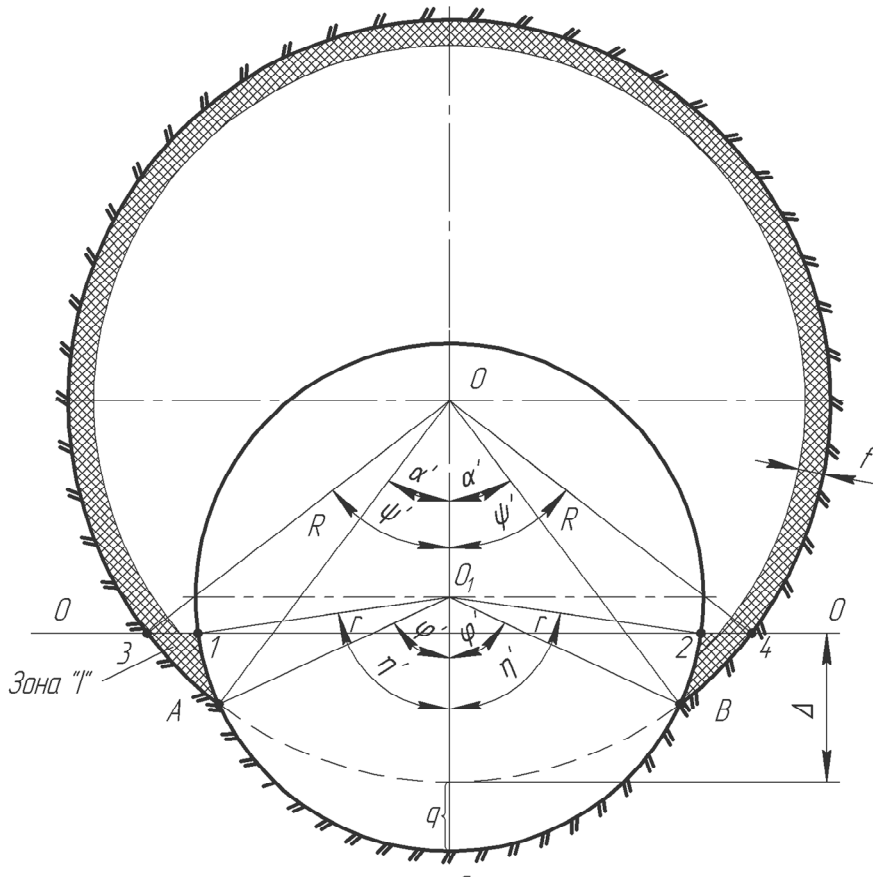
В результаті спрощень отримуємо:

$$\alpha' = \arccos \left[\frac{2 \cdot (R - r) \cdot (R - q) + q^2}{2 \cdot (R - r + q) \cdot R} \right] \quad (12)$$

За теоремою синусів з трикутника AOO_1 :

$$\varphi' = \arcsin \left[\frac{R \cdot \sin(\alpha')}{r} \right] \quad (13)$$

Згідно з геометричними побудовами площа контакту елемента бурильної колони із стінкою свердловини визначається за формулою



q – глибина жолобної виробки на стінці свердловини

Рисунок 2 — Схема контакту бурильної колони зі стінкою свердловини, покритою фільтраційною кіркою і ускладненою жолобною виробкою

$$S = \frac{\varphi^I \cdot \pi \cdot r \cdot l}{180}, \quad (14)$$

де l – довжина ділянки контакту елемента бурильної колони (по осі) із стінкою свердловини.

Площа перерізу частини кільця фільтраційної кірки бурового розчину в жолобній частині стовбура свердловини визначається:

$$S_{\phi} = \frac{\varphi^I \cdot \pi \cdot r \cdot f}{90}. \quad (15)$$

При попаданні елемента бурильної колони в такий "жолоб" відбудеться витіснення фільтраційної кірки із зони контакту металу і гірської породи в зону "Г" (рис. 2), що збільшує площу взаємодії бурильної колони і в'язкої частини бурового розчину і висоту Δ_1 . Кути охоплення при цьому будуть:

$$\psi^I = \arccos \left[\frac{r + \Delta_1 - q}{r} \right], \quad (16)$$

$$\eta^I = \arccos \left[\frac{R + q - \Delta_1}{R} \right]. \quad (17)$$

В результаті виконання відповідних перетворень, отримуємо рівняння взаємозв'язку між величиною охоплення елемента бурильної колони фільтраційною кіркою і її геометричними розмірами:

$$r^2 \left[(2\varphi^I - \sin 2\varphi^I) - (2\eta^I - \sin 2\eta^I) \right] - R^2 \left[(2\alpha^I - \sin 2\alpha^I) - (2\psi^I - \sin 2\psi^I) \right] = \frac{\varphi^I \cdot \pi \cdot r \cdot f}{90}. \quad (18)$$

В результаті розв'язку системи рівнянь (17-19), отримаємо невідомі величини Δ_1 , η^I , ψ^I .

Такого роду взаємодія елемента бурильної колони може відбуватися лише при чітко виражених його геометричних розмірах (циліндрична форма), до яких можна віднести замки, ОЦЕ і ділянки бурильних труб, які повністю прилягають до стінки свердловини. Розглянемо в такому разі задачу із визначення площі контура контакту тіла бурильної труби із стінкою свердловини, яка покрита фільтраційною кіркою. Згідно схеми взаємодії (рис. 3) бурильної труби із стінкою свердловини, видно, що на ділянці, довжиною l_2 , відбувається взаємодія її зовнішньої поверхні з фільтраційною кіркою по твірній циліндра, радіусом r . Повна довжина поверхні контакту тіла відбувається по довжині l^* . Проекція зони контакту бурильної труби зі стінкою свердловини, покритою фільтраційною кіркою, зображено на рис. 4.

Згідно з рис. 4 зона контакту бурильної труби відбувається по частині циліндричної поверхні $BC^I C^{II} B$ і еліпсоїдній: $AB^I B^{II}$ і $DC^I C^{II}$.

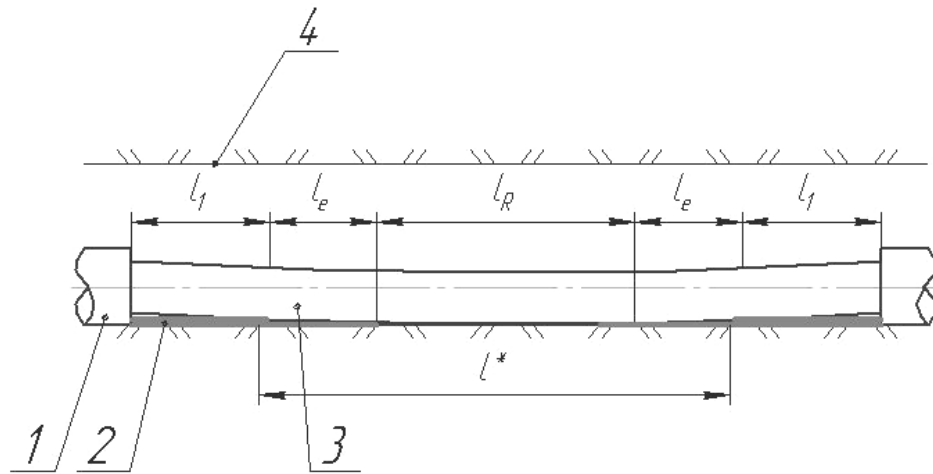


Рисунок 3 — Схема взаємодії бурильної труби із стінкою свердловини

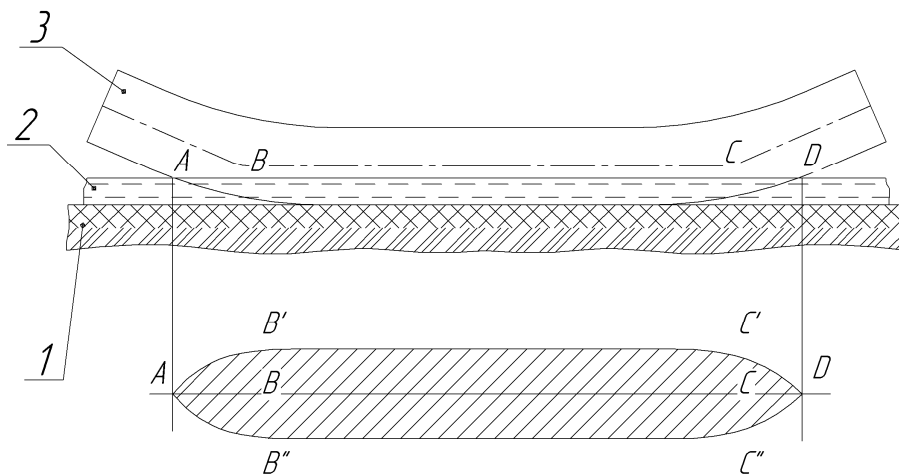


Рисунок 4 — Схема зони контакту бурильної труби зі стінкою свердловини, яка покрита фільтраційною кіркою

Визначення площі $BC^I C^{II} B$ передбачають розрахункові схеми (рис. 1, 2), а для встановлення зони контакту бурильної труби і фільтраційної кірки в ділянках $AB^I B^{II}$ і $DC^I C^{II}$ скористаємося такою залежністю:

$$S_{\text{КОНТ}} = 4 \int_0^a dx \int_0^b \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} \left\{ \left[a^4 b^4 - a^2 b^4 x^2 - a^4 b^2 y^2 + b^4 c^2 x^2 + a^4 c^2 y^2 \right] \cdot \left[a^4 b^4 - a^2 b^4 x^2 - a^4 b^2 y^2 + b^4 c^2 x^2 + a^4 c^2 y^2 \right]^{-1} \right\}^{1/2}, \quad (19)$$

де a, b, c — відповідно довжини еліпсоїда (рис. 4): $a = BB^{II}$, $b = AB$, $c = f$.

В результаті інтегрування (19), визначається залежність площі контакту тіла бурильної труби з фільтраційною кіркою товщини f .

Наведений підхід до визначення площі контакту елемента бурильної колони із стінками свердловини, покритої фільтраційною кіркою, є одним із шляхів ефективною оцінки сил тертя, які виникають у результаті взаємодії гірської

породи із металевими трубами. Встановлення величини контактної площі труб із стінками свердловини дозволить врахувати при різних техніко-технологічних розрахунках адгезійну взаємодію липкої фільтраційної кірки і бурильної колони. Зважаючи на значний практичний інтерес визначення взаємодії елементів бурильної колони із стінками свердловини у вертикальній, похило-скерованій та горизонтальній свердловинах, у даному напрямі ведуться подальші дослідження з метою вдосконалення методики розрахунку сил опору обертання і поступальному осьовому переміщенню бурильної колони та затрат енергії на їх подолання і забезпечення ефективного руйнування гірської породи.

Література

- 1 Промивання свердловини. Відробка доліт. Довідник буріння свердловин в 5-ти томах. Т. 5 // Під ред. М.А.Мислюка, І.Й.Рибчича, Р.С.Яремійчука. — К.: Інтерпрес, 2005. — 304 с.
- 2 Александров М.М. Силы сопротивления при движении труб в скважине. — М.: Недра, 1978. — 207 с.

3 Копылов В.Е., Артюшкин В.Н. Исследование стенок скважины при бурении. – Тюмень: ТГУ, 1981. – 101 с.

4 Зейналов И.Э. Исследование влияния фильтрации бурового раствора и свойств жидкостей, используемых в качестве ванны на

характер взаимодействия колонны труб в глинистой корке // Изв. ВУЗов. Нефть и газ. – 1991. – №8. – С. 46–51.

5 Игнатъева А.В., Краснощекова Т.И., Смирнов В.Ф. Курс высшей математики. – М.: Высшая школа, 1968. – 691 с.

УДК 622.245.23

ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ У КРИВОЛІНІЙНОМУ СТОВБУРІ СВЕРДЛОВИНИ

Р.В.Рачкевич, ¹В.І.Артим, ²А.А.Козлов

¹ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42002,
e-mail: ndingt@nung.edu.ua

²ДАТ „Чорноморнафтогаз”, 95000, м. Сімферополь, просп. Кірова / провул. Совнаркомівський, 52/1,
тел. (0652) 523403, e-mail: office@gas.crimea.ua

Рассмотрен продольно-поперечный изгиб буровой колонны с целью определения ее положения в криволинейном участке скважины. На основе сравнительного расчета сделан вывод о необходимости учета продольных сил при анализе напряженно-деформированного состояния колонны.

Drill string longitudinal-transverse bend with the aim of its displacement definition on curvilinear part of the hole is considered. Based on comparative calculation the conclusion about necessity of longitudinal force consideration by analysis of string deflected mode is drawn.

Більшість запасів нафти та газу на території України можна віднести до важковидобувних, і забезпечити високий коефіцієнт флюїдо-вилучення шляхом спорудження вертикальних свердловин досить важко. Одним із шляхів інтенсифікації видобування вуглеводневої сировини є спорудження похило-скерованих та горизонтальних свердловин. Значна їх кількість містить криволінійні ділянки, на яких відбувається зміна зенітного і азимутального кутів. Такі умови спричиняють додаткові навантаження на бурильну колону і вимагають вдосконалення методів її розрахунку.

Традиційний підхід до визначення напружень згину у бурильних трубах передбачає умову, що колона торкається стінок криволінійної ділянки свердловини по всій довжині [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Це означає, що напруження у бурильній колоні є функцією від її жорсткості та радіусу викривлення стовбура свердловини. Однак, загалом, радіус викривлення бурильної колони не співпадає з радіусом викривлення криволінійного стовбура свердловини. Зокрема в роботі [7] зазначається, що внаслідок своєї жорсткості ОБТ не зовсім точно повторюють профіль стовбура. Можливі випадки, коли труби доторкаються до «верхньої» частини стінки свердловини, «провисають» або лежать на «нижній» частині стінки. В роботі [1] додатковим аргументом функції для визначення напружень згину у поперечному перерізі бурильної колони є довжина криволінійної ділянки. В роботі [8, 9] допускається, що дотик бурильної колони до стінки інтенсивно викривленого стовбура свердловини здійснюється в окремих трьох

точках. При аналізі напружено-деформованого стану розглядається модель невагомої балки на двох шарнірних опорах, навантаженої тільки зосередженою силою по середині. Для розгляду особливостей положення бурильної колони у криволінійному стовбурі свердловини у роботі [10] використано модель вагомої балки на двох опорах, що залежно від умов роботи навантажена зосередженою силою або згинаючим моментом.

Виходячи із проаналізованих робіт, представляє практичний інтерес вивчення впливу на поперечну деформацію бурильних труб по вздовжній розтягуючої сили, яка створюється бурильною колоною, що лежить нижче від криволінійної ділянки.

Розглянемо бурильну колону у криволінійному стовбурі свердловини та прилеглих до нього прямолінійних ділянках (рис. 1). Умовно розділимо її на три частини: 1) у напрямку від вибою свердловини до точки А; 2) між точками А та В; 3) від точки В у напрямку до устя. Розглянемо другу частину. Залежно від навантаження вона може: а) доторкатися до «верхньої» частини стінки криволінійного стовбура («П1»); б) доторкатися до «нижньої» частини стінки криволінійного стовбура («П2»); в) не доторкатися до стінки криволінійного стовбура («П3»). Саме вказане положення є критерієм вибору розрахункової схеми для визначення напружень згину у колоні.

Розглянемо критерій вибору положення бурильної колони. Введемо у розрахунок систему координат, вісь абсцис якої проходить через точки А та В з початком у т. А. Ділянку АВ